

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Dokončování hlubokých otvorů honováním

Finishing of the Deep Holes by Honing

Student:

Lukáš Drábek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Drábek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Dokončování hlubokých otvorů honováním**
Finishing of the Deep Holes by Honing

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky obrábění otvorů.
2. Návrh dokončování hlubokých otvorů.
3. Experimentální činnost.
4. Závěrečné vyhodnocení experimentu.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu – disertační práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, 2005. 101 s.
- [3] WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performance*. Gainesville, Florida : Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.

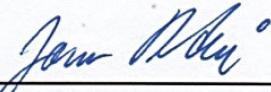
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**

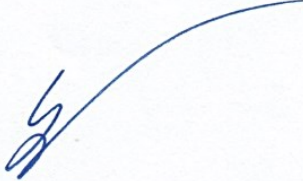
Konzultant bakalářské práce: Ing. Antonín Trefil

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

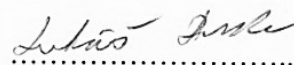



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2013

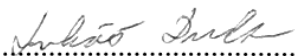


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola ба́нскá – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona c. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2013


.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Drábek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Mírová 574

Klimkovice, 742 83

Anotace bakalářské práce

DRÁBEK, L. *Dokončování hlubokých otvorů honováním: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 44 s. Vedoucí práce: Petrů, J.

Bakalářská práce se zabývá dokončováním hlubokých otvorů honováním. V úvodu je teoretická část, kde jsou uvedeny způsoby výroby otvorů. Další část je věnována dokončovací metodám výroby otvorů. Praktická část je vytvořena ve spolupráci s firmou Vítkovice Heavy Machinery a.s. V praktické části je uvedeno srovnání dvou výrobců honovacích zařízení, Sunnen s.r.o. a Gehring Technologies GmbH. Srovnání je provedeno z ekonomického hlediska nákupu strojů, nástrojů, příslušenství a porovnáním nákladů na výrobu zadané součásti s předepsanými parametry.

Annotation of bachelor thesis

DRÁBEK, L. *Finishing of the Deep Holes by Honing: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 44 p. Thesis head: Petrů, J.

Bachelor thesis is dealing with finishing of the deep hole by honing. The introduction, the theoretical part, which lists the methods of making holes. Another section is devoted to methods of production finishing holes. The practical part is created in cooperation with Vitkovice Heavy Machinery a.s. The practical part is a comparison of two producers honing equipment, Sunnen Ltd. and Gehring Technologies GmbH. Comparison is made economically purchase of machines, tools, accessories and comparing the cost of producing the desired components with specified parameters.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	7
Úvod	8
1. Úvod do problematiky obrábění otvorů	9
1.1 Vrtání.....	9
1.1.1 Nástroje pro vrtání	9
1.1.2 Stroje pro vrtání	12
1.2 Protahování a protlačování.....	13
1.3 Soustružení.....	13
1.4 Frézování	14
2. Návrh dokončování hlubokých otvorů.....	15
2.1 Vyhrubování	16
2.1.1 Nástroje pro vyhrubování	16
2.2 Vystružování.....	17
2.2.1 Nástroje pro vystružování	17
2.3 Vyvrtávání	18
2.4.1 Nástroje pro vyvrtávání.....	19
2.4.2 Stroje pro vyvrtávání.....	20
2.4 Válečkování a kuličkování	20
2.5.1 Nástroje pro válečkování a kuličkování.....	21
2.5.2 Stroje	22
2.5 Lapování	22
2.6.1 Nástroje pro lapování.....	22
2.6.2 Stroje	23
2.6 Honování	24
2.7.1 Nástroje pro honování	26
2.7.2 Stroje	27
3. Experimentální činnost	29
3.1 Charakteristika firem.....	29
3.2 Výrobní požadavky	30
3.3 Cenové kalkulace jednotlivých výrobců	32
3.4 Srovnání výrobních nákladů pro výrobu součástí	38
4. Závěrečné vyhodnocení experimentu.....	39
Závěr	41
Použité zdroje.....	43

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	kontrakce oceli zjištěna tahovou zkouškou [%]
BTA	Boring and Trepanning Association vrtání a vyvrtávání na jádro
D	průměr vrtáku [mm]
d	průměr tělesa [mm]
d_j	průměr jádra [mm]
f	šířka fazetky [mm]
HRC	stupeň tvrdosti dle Rockwella [-]
ISO	International Organization for Standardization Mezinárodní organizace pro normalizaci
IT	stupeň přesnosti [-]
K_v	vrubová houževnatost s vrubem tvaru V [J]
L	délka vrtáku [mm]
l	délka těla vrtáku [mm]
l_1	délka stopky [mm]
l_d	délka drážky [mm]
NC	Numerical Control číslicové řízení
Ra	průměrná aritmetická odchylka profilu [μm]
Re	mez kluzu tahovou zkouškou [MPa]
Rm	mez pevnosti tahovou zkouškou [MPa]
RO	rychlořezná ocel
SK	slinutý karbid
Z	tažnost oceli zjištěná tahovou zkouškou [%]
α_z	úhel křížových stop vznikajících během honování [$^\circ$]
κ_r	úhel hlavního nastavení [$^\circ$]
φ	úhel příčného ostří [$^\circ$]
ω	úhel stoupání šroubovice [$^\circ$]

Úvod

V práci budou popsány jednotlivé způsoby výroby otvorů před samotným honováním. Uvedeny budou metody obrábění včetně používaných nástrojů a strojů. Metody, o které se například jedná, jsou vrtání, soustružení a frézování. Další část je věnována metodám dokončování již vyrobených otvorů s ohledem na geometrickou a rozměrovou přesnost vyrobených otvorů a také s ohledem na dosahovaný parametr drsnosti.

Cílem bakalářské práce zaměřené na honování hlubokých otvorů je porovnání dvou typů honovacích strojů od rozdílných výrobců. Jedním výrobcem je americká firma Sunnen s.r.o. Druhou je německá firma Gehring Technologies GmbH. Celé posouzení bude provedeno ve spolupráci se společností Vítkovice Heavy Machinery a.s.

Porovnány budou náklady na pořízení strojů jednotlivých výrobců. Do srovnání budou zahrnuty náklady na pořízení potřebného příslušenství k těmto strojům. Například honovací nástroje, které zahrnují honovací hlavy, vodící tyče a honovací kameny. Důležitá je také cena provozních kapalin použitých při procesu honování.

Nakonec dojde k ekonomickému zhodnocení výroby součástí s požadovanými rozměry, geometrickou přesností a parametrem drsnosti povrchu. Součást je vybrána jako typový představitel ze součástí, které jsou honovány. Honování probíhá jako kusová výroba. Po zhodnocení všech aspektů dojde k výběru vhodného výrobce honovacího stroje. Zohledněna bude také dostupnost servisu strojů, případná komunikace s výrobcem a servisní síť v České republice.

1. Úvod do problematiky obrábění otvorů

Otvory lze vyrábět mnoha způsoby, a to mechanickým, fyzikálním, chemickým nebo fyzikálně chemickým způsobem. Jejich použití se odvíjí od použitého obráběného materiálu, požadovaných parametrů obráběného otvoru a dalších parametrů. Popsány budou jen vybrané způsoby.

1.1 Vrtání

Vrtání patří mezi nejstarší způsoby výroby otvorů. Jedná se o velmi používanou metodu, která se používá k obrábění vnitřních ploch obrobku. Otvory můžeme vytvářet různých tvarů a hloubek, nejjednodušší a nejpoužívanější je výroba otvorů rotačních. Vytvářet je můžeme do plného materiálu nebo do již předvrtaných, předlisovaných nebo předlitých otvorů.

Otvory mohou být průchozí nebo neprůchozí. Obrábění průchozích otvorů je velmi snadno proveditelné. U neprůchozích může být problém jejich následné zakončení a dosažení požadované hloubky otvoru. Dokončení vrtání u neprůchozích otvorů se provádí zastavením posuvu a vrták vykoná několik otáček za účelem odříznutí závěrečné třísky.

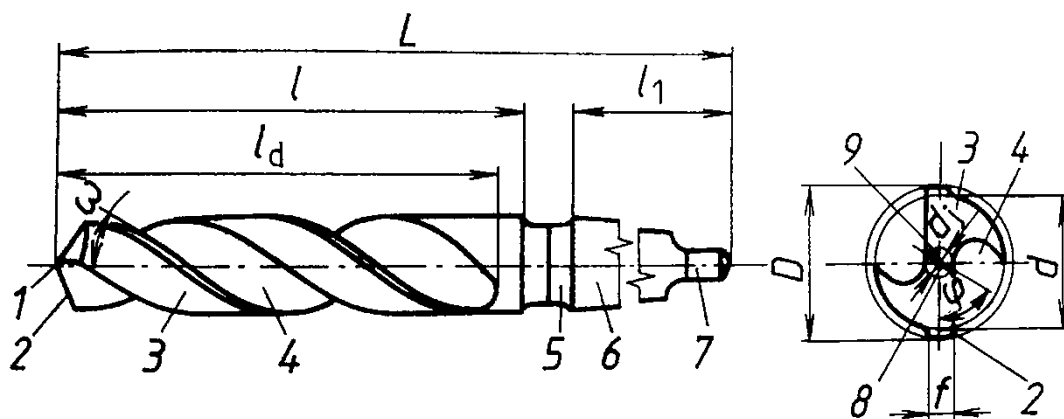
Posuv ve směru osy nástroje a hlavní řezný pohyb, který je rotační a vykonává ho nástroj, pouze ve výjimečných situacích vykonává rotační pohyb obrobek. Během operace vrtání je řezná rychlost na obvodu nástroje největší a směrem ke středu klesá. Z pohledu hospodárnosti a přesnosti vrtání je velmi důležitá teplota, osová síla a krouticí moment. Tyto hodnoty jsou ovlivněny soustavou stroje, nástroje, obrobku a řezným prostředím.

1.1.1 Nástroje pro vrtání

Pro vrtání se používají vrtáky, které dle jejich tvaru dělíme například na šroubovité, kopinaté, středící, dělové a hlavňové vrtáky, vrtací hlavy aj.

- **Šroubovité vrtáky** jsou nejpoužívanější nástroje pro výrobu otvorů. Jsou to dvoubřité nástroje s drážkami ve tvaru šroubovice pro odvod třísek a přívod řezné kapaliny. Podle obráběného materiálu se liší úhel stoupání šroubovice a vrcholový úhel. Vedení vrtáku zajišťuje válcová fazetka, která je umístěna na vedlejším ostří vrtáku.

Pro snížení tření, které vzniká v otvoru, se vrták vyrábí mírně kuželový s menším průměrem u stopky. Průměr jádra se ke stopce zvětšuje, čímž dosahujeme zvýšení tuhosti vrtáku.

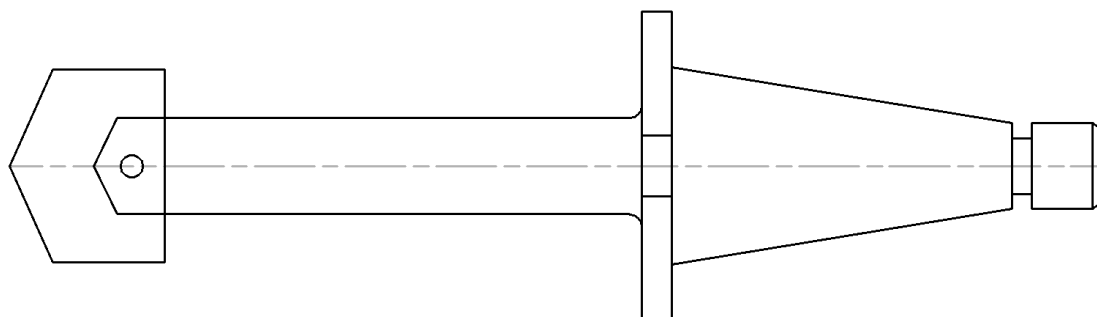


Obr. 1.1 Šroubovitý vrták s kuželovou stopkou Morse [1]

1 – hrot, 2 – hlavní ostří, 3 – zub, 4 – drážka, 5 – krček, 6 – stopka, 7 – vyřazeč,
8 – příčné ostří, 9 – jádro

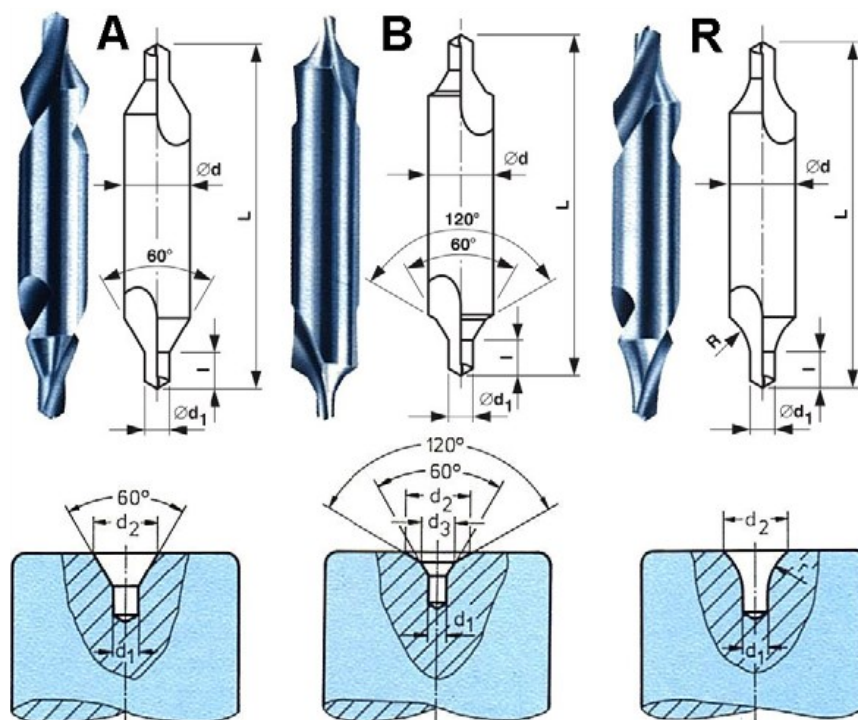
D – průměr vrtáku, d – průměr tělesa, d_j – průměr jádra, f – šířka fazetky, φ – úhel příčného ostří, L – délka vrtáku, l – délka těla vrtáku, l_1 – délka stopky, l_d – délka drážky, ω – úhel stoupání šroubovice

○ **Kopinaté vrtáky** jsou nejstarším a nejjednodušším druhem vrtacích nástrojů. Vrták je tvořen dvěma hlavními břity a příčným břitem. Čím je tvrdší vrtaný materiál, tím je úhel mezi těmito hlavními ostří větší. U nové konstrukce vrtáků tvoří řezná část vyměnitelné břitové destičky z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu. Nevýhodou tohoto vrtáku je, že není příliš vhodný pro vrtání otvorů větších hloubek, z důvodu špatného odvodu třísky z místa řezu. Tento negativní jev lze snížit přívodem dostatečného množství řezné kapaliny.



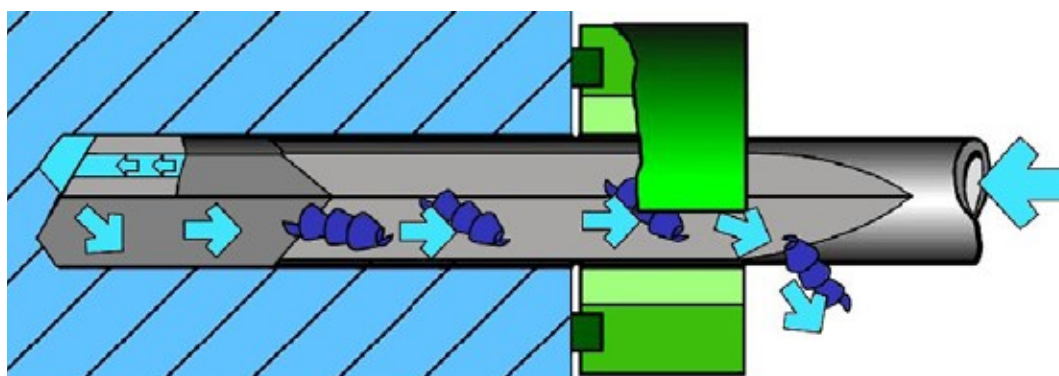
Obr. 1.2 Kopinatý vrták

- **Středicí vrtáky** uplatňují se při navrtávání tvarových důlků pro upínání obrobku do hrotu, nebo vyvrtání středicího důlku pro vymezení přesné polohy osy šroubovitého vrtáku.



Obr. 1.3 Středicí vrtáky [5]

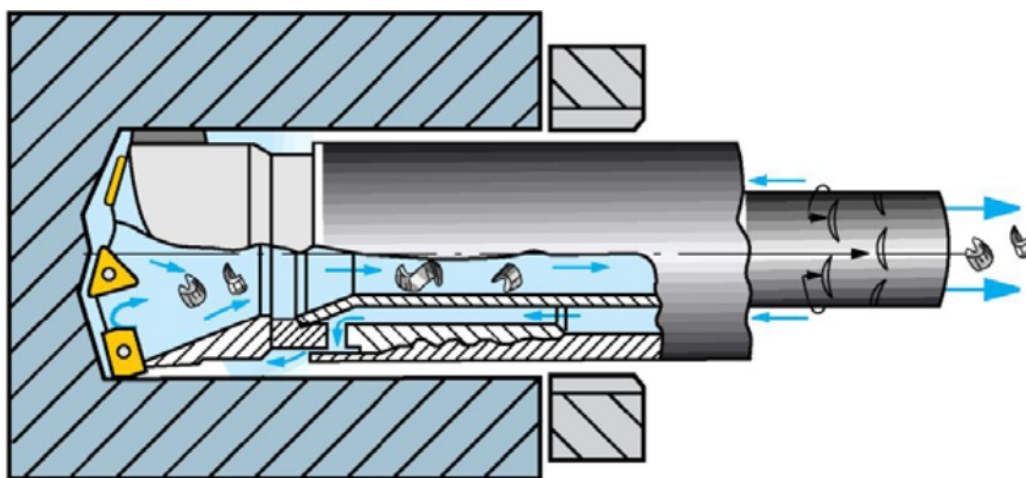
- **Dělové a hlavňové vrtáky** se používají pro vrtání méně hlubokých otvorů, protože se po odvrtání určité hloubky musí vytáhnout z důvodu odstranění třísky. Těmito vrtáky je možno vyrábět velmi přesné otvory. Tělo je tvořeno tyčí nebo trubkou potřebné délky, na niž je připájená řezná část nástroje vyrobená z RO nebo SK. Některé nástroje jsou vyrobeny s břitovými destičkami. Jejich konstrukce je založena na přívodu řezné kapaliny otvorem v tělese vrtáku. Řeznou kapalinou dochází k odplavování třísek z místa řezu.



Obr. 1.4 Vrtání hlavňovým vrtákem [5]

○ **Vrtací hlavy** se používají pro vrtání otvorů velkých průměrů. Můžeme jimi vrtat od průměru 20 mm. Nástroj je osazen pájenými nebo mechanicky upnutými destičkami. Přívod řezné kapaliny je řešen prostorem mezi vrtákem a otvorem (metoda BTA), nebo prostorem uvnitř vrtáku (ejektorová metoda). Výhodou ejektorové metody je, že může pracovat s nižším tlakem chladicí kapaliny.

Pro vrtání větších průměrů otvorů se používají **trepanační vrtáky**, u nichž se materiál odřezává pouze ve formě mezikruží šířky 20 až 50 mm. Uvnitř vrtáku zůstává jádro, které se posouvá uvnitř nástroje. U těchto nástrojů se používají vodítka, které zlepšují vedení nástroje a také mají hladicí účinek, čímž se zlepšuje výsledný parametr drsnosti.



Obr. 1.5 Princip ejektorového vrtání [5]

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou velmi výkonné moderní nástroje. Držák a tělo vrtáku je vyroben z rychlořezné oceli s mechanicky připevněnými břitovými destičkami. Používají se dvě a více břitových destiček, které mají například vytvořený otvor pro upnutí pomocí šroubu, nebo jiný způsob upnutí. Používá se pro vrtání otvorů do plna od průměru 12 do 100 mm.

Sdružené vrtáky se používají pro vrtání osazených otvorů a zahloubení. Jejich výhodou je značná úspora času.

1.1.2 Stroje pro vrtání

Stoje, které se především používají při vrtání vyhrubování a vystružování se nazývají vrtačky. Vykonávají hlavní řezný pohyb i posuvový pomocí vřetene s upnutým nástrojem. Vrtačky můžeme rozdělit na stolní, sloupové, stojanové, radiální, souřadnicové a speciální.

1.2 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování je přesné a vysoce produktivní obrábění. Vysoké náklady na výrobu protahovacích a protlačovacích nástrojů určují jejich využití v hromadné a velkosériové výrobě.

Hlavní řezný pohyb vykonává nástroj a nejčastěji je přímočarý. Při protahování je nástroj tažen a u protlačování tlačén. Z důvodů většího namáhání protlačovacích nástrojů jsou protlačovací trny vyráběny kratší.

Při obrábění vnitřních ploch je otvor již předpracovaný a potahováním nebo protlačováním dosahujeme konečného tvaru, přesnosti, rozměru a parametru drsnosti.

Nástroje pro protahování a protlačování

Používají se protahovací a protlačovací trny, jejich zuby se skládají z několika částí, řezací, kalibrovací a hladící. U nástrojů s větším záběrem na zub se vyrábí v řezacích zubech drážka, která způsobuje lepší utváření a dělení třísky.

Stroje pro protahování a protlačování

Pro protahování se používají protahovačky, které mohou být vodorovné nebo svislé. Pro protlačování se využívají lis. Stroje mohou být použity pro obrábění vnitřních i vnějších ploch. Obrobek je spolu s upínacím zařízením upnut k pracovnímu stolu.

1.3 Soustružení

Soustružením se rozumí obrábění rotačních ploch, nejčastěji jednobřítým nástrojem. Stupeň přesnosti, kterého je možno dosáhnout soustružením je IT 5 a parametr drsnosti povrchu $Ra\ 0,2\ \mu m$. Po vrtání patří mezi nejstarší způsoby obrábění. Soustružením lze obrábět válcové, kuželové, obecné rotační plochy, rovinné plochy a závity. Na soustruzích můžeme provádět vrtání, vyhrubování a vystružování.

Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obrobek. Vedlejší pohyby vykonává nástroj, jako podélný a příčný posuv.

Nástroje pro soustružení

Nástroje pro soustružení se nazývají soustružnické nože. Jedná se o jednoduché nejčastěji jednobřité nástroje, které jsou relativně levné a jednoduché na údržbu.

Nové a kvalitní nástroje nám dovolují použití vyšších řezných rychlostí a posuvů, což vede ke zvýšení produktivity až 60%. Nástroje také zlepšují kvalitu obráběného povrchu a funkční spolehlivost nástrojů při současném snížení doby obrábění a ceny výrobků.

Stroje pro soustružení

Pro soustružení se používají soustruhy, jsou to nejpoužívanější stroje. Například podle konstrukčního hlediska se dělí na hrotové, čelní, svislé (karuselové), revolverové a speciální. Podle stupně automatizace na ručně ovládané, poloautomatické a automatické.

1.4 Frézování

Výhodou tohoto způsobu obrábění je velká výkonnost při velmi dobré kvalitě povrchu. Používá se pro obrábění rovinných nebo tvarových ploch. Mohou být vnitřní nebo vnější, pomocí vícebřitého nástroje.

Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho nástroj, vedlejší pohyb je přísuv a ten vykonává obrobek. Řezný proces je přerušovaný z důvodu postupného záběru zubů při proměnlivé tloušťce třísky. Z důvodu chvění je výhodné, současný záběr několika zubů.

Nástroje pro frézování

Nástroje rozdělujeme například podle umístění břitů fréz na válcové frézy, u kterých jsou břity umístěny na válcové ploše, čelní fréza má břity umístěné na válcové i čelní ploše. Dalším druhem frézy je kuželová, u této jsou břity na jedné nebo dvou kuželových plochách, dále kotoučové s umístěním břitů na obou čelních plochách a válcové ploše. Posledním typem jsou tvarové frézy s břity na tvarových plochách.

Stroje pro frézování

Stroje pro frézování se nazývají frézky a vyrábějí se v mnoha provedeních. Například konzolová, která může být svislá, vodorovná nebo univerzální. Dalším typem je kopírovací frézka, stolová frézka, rovinná frézka a speciální frézka.

2. Návrh dokončování hlubokých otvorů

Dokončovací operace jsou technologické procesy, jejichž cílem je zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností, zvýšení kvality obráběného povrchu a geometrických rozměrů a například také zlepšení vzhledu obráběné plochy součásti.

Při dokončovacích operacích obrábění dochází k úběru třísek malých průřezů s malými řeznými silami, které vedou ke vzniku malých deformací obrobku. Dokončovacím způsobem obrábění vznikají vysoce kvalitní obrobky.

Při vyšších požadavcích na výslednou kvalitu otvoru je možno použít vystružování, vyvrtávání, lapování, válečkování a honování.

Tab. 2.1 Přehled dokončovacích operací [1]

Druh obrábění	Drsnost povrchu Ra (μm)	Stupeň přesnosti IT	Rychlost obrábění ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	Specifický tlak nástroje (MPa)	Teplota povrchu ($^{\circ}\text{C}$)	Přídavek na průměr (μm)
Vyvrtávání	0,2 – 0,8	4 – 6	10 – 250	10 – 100	50 – 250	30 – 300
Vystružování	0,2 – 0,8	5 – 7	3 – 18	10 – 200	40 – 150	50 – 250
Válečkování	0,1 – 0,4	6 – 7	10 – 30	200 – 1400	30 – 50	5 – 20
Kuličkování	0,2 – 0,8	7 – 9	15 – 45	200 – 1200	30 – 50	5 – 30
Klasické honování	0,1 – 0,8	3 – 5	15 – 40	0,2 – 1,4	30 – 150	20 – 200
Diamantové honování	0,2 – 0,8	2 – 4	40 – 80	0,3 – 2	30 – 80	10 – 150
Vibrační honování	0,1 – 0,4	2 – 4	10 – 150	0,2 – 0,8	30 – 60	10 – 300
Elektro-chemické honování	0,2 – 0,8	3 – 5	10 – 40	0,2 – 1,2	30 – 40	20 – 500

2.1 Vyhrubování

Povrch součástí, který vzniká po obrábění vrtáním, se vyznačuje vysokým parametrem drsností a velkou geometrickou nepřesností. Vyhrubováním nebo vystružováním zlepšujeme kvalitu těchto ploch. Zpřesňujeme tvar otvoru a snižujeme parametr drsnosti povrchu.

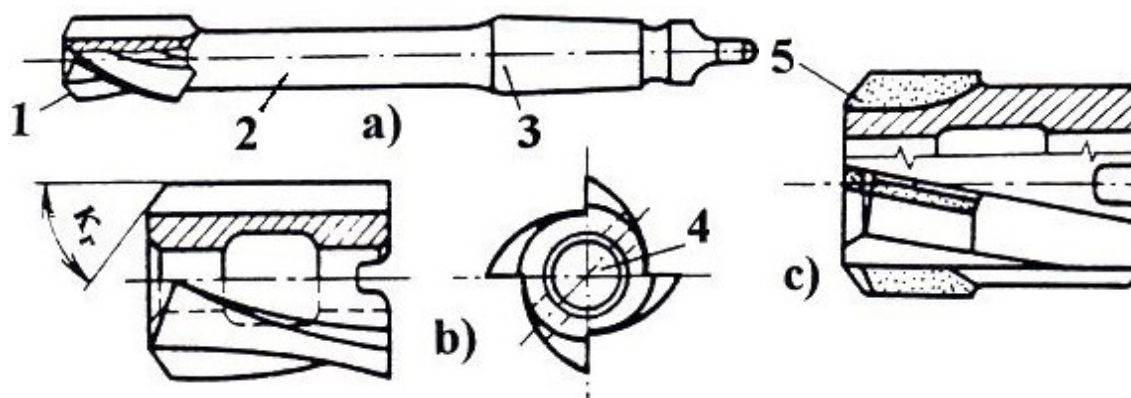
U otvorů menších průměrů (do 10 mm), se provádí pouze vystružování. Vyhrubováním dosahujeme stupně přesnosti IT 10 – 12 a parametru drsnosti Ra 3,2 – 12,5 μm . Pro vyhrubování musí mít vrtaná díra přídavek na obrábění 0,8 mm. Pokud se po vyhrubování bude provádět vystružování, vyrábí se výhrubník o 0,2 až 0,4 mm menší.

2.1.1 Nástroje pro vyhrubování

Výhrubníky mají tři nebo čtyři břity ve šroubovici. Konstrukce je se stopkou do průměru 30 mm nebo nástrčné.

Pracovní část výhrubníku je složena z řezného kužele a válcové vodící části. Řezná část je kuželová, zuby na válcové části slouží k vedení výhrubníku v otvoru pomocí válcové fazetky.

Tělo výhrubníku se vyrábí z konstrukční oceli a řezná část je z rychlořezné oceli přivařená k tělu. Výhrubníky mohou být také vyrobeny s připájenými destičkami ze SK.



Obr. 2.1 Výhrubník a) s kuželovou stopkou, b) nástrčný, c) s břity ze SK [1]

1 – řezný kužel, 2 – tělo, 3 – upínací stopka, 4 – upínací díra, 5 – pájené břitové destičky z SK

2.2 Vystružování

Vystružování se používá jako následující operace po hrubování, v případě menších otvorů do průměru 10 mm se vyhrubování neprovádí. Vystružováním dochází ke konečnému zpřesnění geometrických rozměrů a dosažení požadovaného parametru drsnosti povrchu. Pro správné vystružování musí být zajištěn dostatečný přídavek na vystružování, z důvodu vytlačování materiálu. Při nedostatečném přídavku nedochází k odřezávání materiálu a snižuje se životnost nástroje.

Ručním vystružováním dosahujeme stupně přesnosti IT 6 – 8 a parametru drsnosti Ra 0,4 až 1,6 μm . Strojním stupně přesnosti IT 7 – 9 a parametru drsnosti Ra 0,4 až 1,6 μm . Vystružování jednobřitým nástrojem s břity ze SK IT 5 – 6 a parametru drsnosti Ra 0,15 až 0,2 μm .

2.2.1 Nástroje pro vystružování

Výhrubníky, výstružníky a záhlubníky jsou často vícebřité nástroje s břity vyrobenými z rychlořezné oceli. U vysoce výkonného obrábění se používají nástroje s břity ze slinutého karbidu pájené nebo mechanicky upnuté.

Výstružníky se vyrábějí strojní i ruční a slouží k vystružování válcových otvorů.

Strojní výstružníky se vyrábějí nástrčné s válcovou nebo kuželovou stopkou. Zuby jsou přímé s nerovnoměrnou roztečí, která zabraňuje vzniku hranatosti otvoru, nebo ve šroubovici. Řezná část je ve tvaru kužele. Pro snížení krouticího momentu je zadní polovina vodící části mírně kuželová.

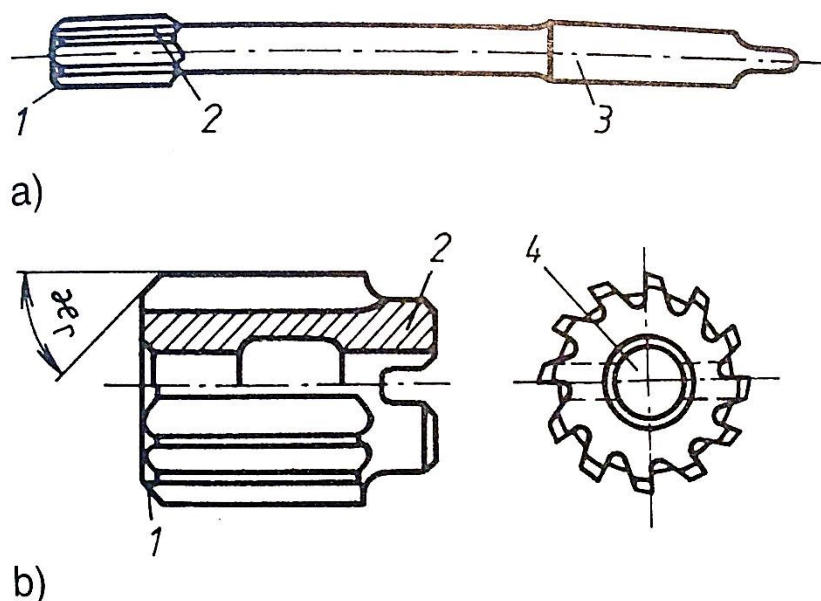
Ruční výstružníky se používají pro vystružování pomocí vratidla. Na konci mají vyroben čtyřhran.

Kuželové výstružníky se používají u kuželových otvorů. Ostří mají umístěné na kuželové ploše a vyrábějí se ruční nebo strojní. U ručních se používá sadových nástrojů.

Rozpínací a stavitelné jsou využívány především v opravárenství. Těleso řezné části rozpínacích výstružníků je duté a rozříznuté v zubových mezerách. Pro zvýšení průměru

výstružníku se do dutiny vtlačuje kužel nebo kulička. Stavitelné výstružníky mají zuby vsazené v drážkách a ke změně průměru dochází pohybem dvou matic.

Výstružníky s břity ze slinutých karbidů se používají pro obrábění hůře obrobitelných materiálů. Břity jsou buď připájeny, nebo jsou mechanicky upnuty. Mohou být celistvé pro menší otvory nebo vícebřité.



Obr. 2.2 Výměřník a) s kuželovou stopkou, b) nástrčný [1]

1 – řezný kužel, 2 – tělo, 3 – upínací stopka, 4 – upínací otvor, κ_r – úhel hlavního nastavení

2.3 Vyvrtávání

Jedná se o obrábění předem obrobených vnitřních rotačních ploch. Vyvrtáváním je možno zvětšovat otvory kruhového průřezu, vyrobené vrtáním, tvářením, předlitím nebo jiným způsobem. Obrábět můžeme průchozí i neprůchozí otvory ve velkém rozmezí jakosti obrobené plochy a přesnosti. Lze vyrábět rotační dutiny, válcové plochy, kuželové, čelní plochy, mezikruží, rotační tvarové plochy a závity.

Hlavní řezný pohyb může vykonávat nástroj, který je upnut ve vřetenu, nebo obrobek v případě upnutí na soustruhu a je otáčivý. U soustruhů posuvový pohyb vykonává nástroj, který se upíná do nožové hlavy. Posuvový pohyb u vodorovných vrtaček je realizován buď nástrojem, nebo obrobkem.

Před samotným dokončovacím procesem se provádí hrubování. Hrubováním dojde k zpřesnění geometrických rozměrů a polohy otvoru. Dokončování se provádí s vysokými řeznými rychlostmi a malými hloubkami třísky.

Vyvrtávání se používá pro obrábění otvorů větších průměrů než 30 mm, je zde možnost obrábění i meších otvorů od průměru 10 mm.

Při vyvrtávání je důležitá tuhost vyvrtávací tyče, která je namáhána krutem a ohybem. Z tohoto důvodu se hodnotí štíhlost D:L, rozeznáváme šest stupňů štíhlosti 1:3,5, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8 a 1:10.

Hrubováním dosahujeme stupně přesnosti IT 11 až 14 a parametru drsnosti Ra 6,6 až 25 μm , načisto IT 9 až 11 a parametru drsnosti Ra 1,6 až 6,3 μm . U jemného vyvrtávání IT 5 až 8 a parametru drsnosti Ra 0,2 až 1,6 μm .

2.4.1 Nástroje pro vyvrtávání

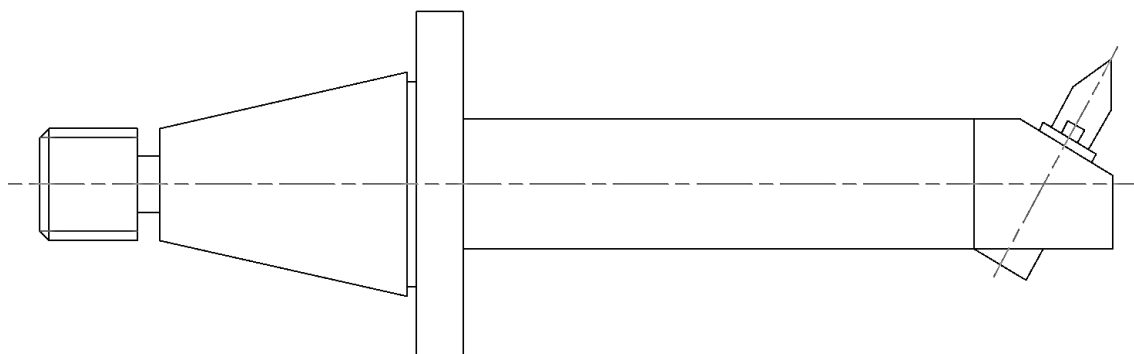
Nástroje používané pro vyvrtávání jsou vyvrtávací tyče a vyvrtávací hlavy. Nejčastěji jsou používány vyvrtávací nože, které jsou konstrukčně podobné soustružnickým nožům. Jsou používány na soustruzích, vrtačkách, vyvrtávačkách, souřadnicových vrtačkách a obráběcích centrech.

Nástroje se vyrábějí také stavitelné a mohou být opatřeny odměřovacím zařízením. Používají se kombinované nástroje, v jejich případě se hlídá záběr pouze jednoho břitu.

- **Vyvrtávací tyč** tvoří držák buď kruhového pro menší řezné odpory a přesnou práci, nebo čtvercového průřezu, který zajišťuje vyšší tuhost a umožňuje obrábění s větším řezným odporem. Ve vyvrtávací tyči jsou vsazeny vyvrtávací nože. Tyče mohou být jednobřité, dvoubřité nebo vícebřité. Jednobřité se používají pro obrábění na čisto. Vícebřité pro hubování.

Vyvrtávací tyče se upínají do vrtaček, při použití na soustruzích do nožové hlavy, nebo do vřeten vyvrtávacích nástrojů. Uložení může být pouze ve vřetenu, kde se jedná o letmé uložení, nebo ve vřetenu a podepření ložiskem.

- **Vyvrtávací nůž** lze upínat různými způsoby, vždy tak aby bylo možno seřizovat polohu nože a velikost vyvrtaného průměru. U tyčí určených pro přesné otvory je nůž uložen v saních, které se nastaví pomocí mikrometrického šroubu.
- **Vyvrtávací hlava** se používá pro vrtání krátkých přesných otvorů nebo pro zarovnání, případně osazení čela otvoru.



Obr. 2.3 Vyvrtávací tyč pro NC stroje

2.4.2 Stroje pro vyvrtávání

Vodorovné vyvrtávačky patří mezi nejuniverzálnější stroje s mnoha přídatnými zařízeními. Tyto zařízení umožňují provádění mnoha operací. Stroje se hlavně používají v malosériové výrobě. Provedení těchto strojů jsou, vodorovné stolové vyvrtávačky, vodorovné deskové vyvrtávačky a jemné vyvrtávačky.

2.4 Válečkování a kuličkování

Válečkování a kuličkování se řadí mezi procesy beztržiskového obrábění, obráběný materiál není odebírán ve formě třísky břitem nástroje, ale dochází k plastické deformaci částic obráběného materiálu. Tato deformace způsobuje zpevnění povrchové vrstvy materiálu a jeho zvýšenou odolnost proti korozi a mechanickému namáhání.

Při statickém válečkování nebo kuličkování dochází působením konstantního tlaku otáčejícího se válečku upevněného v držáku k plastické deformaci povrchu. U dynamického válečkování vykonává váleček kmitavý pohyb.

Válečkováním dosahujeme parametru drsnosti obráběného povrchu $Ra\ 1,6$ až $0,1\ \mu m$ a stupně přesnosti IT 6 až 8. Kuličkováním dosahujeme parametru drsnosti povrchu $Ra\ 0,4$ až $0,1\ \mu m$.

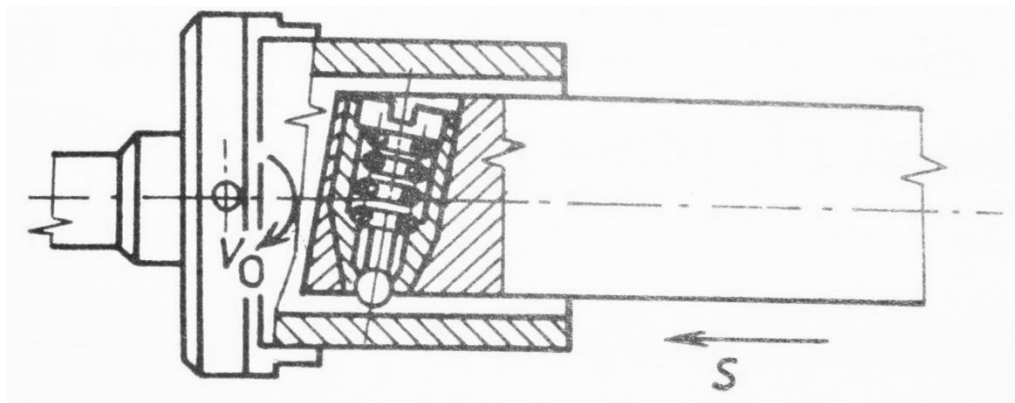
2.5.1 Nástroje pro válečkování a kuličkování

Nástroj je tvořen tvářecími elementy, držákem a upínací stopkou. Tvářecí elementy mohou být ve formě válečků, kuliček, případně soudečků. Vyrábějí se z nástrojové nebo rychlořezné oceli, procházejí tepelným zušlechťením na hodnoty 60 až 65 HRC. Parametr drsnosti povrchu dosahuje $Ra\ 0,025\ \mu m$. Válečky jsou tvořeny náběhovým kuželem, válcovou částí a výběhovým kuželem. Jejich průměr je 5 až 30 mm.

Tvářecí elementy jsou uloženy v držácích. Tyto držáky mohou být statické nebo dynamické, kdy je upevněn na hřídeli, na němž se volně otáčí. Některé typy nástrojů mohou být přitlačovány pružinou.

Statické provedení nástroje se skládá z trnu se stopkou upnutou do vřetene, který se otáčí kolem osy otvoru. Obsahuje také tvářecí elementy a dvoudílnou klec. Nástroj během práce vykonává planetový pohyb.

U dynamického nástroje trn s upínací stopkou je tvořen šestihranným čepem, na čepu je klec a uvnitř tvářecí elementy. Nástroj vykonává pouze otáčivý pohyb. Tvářecí elementy jsou umístěny mimo osou držáku.



Obr. 2.4 Kuličkování vnitřní válcové plochy [1]

2.5.2 Stroje

Válečkování je možno provádět na běžných obráběcích strojích jako je soustruh, hoblovka, vrtačka, obráběcí centrum, svislý soustruh a další.

Během válečkování se používá mazacích kapalin, jako jsou směsi oleje a petroleje, minerální emulze a rostlinné oleje. Mazáním zvýšíme trvanlivost nástroje, snížíme tvářecí síly a zlepšíme jakost povrchu.

2.5 Lapování

Lapování je složeno ze dvou částí, lapovacího nástroje a lapovacího prostředku. Lapovací nástroj slouží k vedení lapovacího prostředku po obráběných plochách a má negativní tvar obrobku. Lapovací prostředek se skládá z brusných zrn, které jsou rozptýleny v pastě nebo kapalině.

Před lapováním je nutno dokonalé obrobení ploch, které se mají lapovat. Pro obrobení se používá broušení, jemné vyvrtávání, vystružování, jemné soustružení a frézování.

Pro lapování velmi složitých tvarů se používá lapování v magnetickém poli. Využívá působení magnetického pole na lapovací prostředek. Další speciální metodou je ultrazvukové lapování, kdy lapovací nástroj navíc koná kmitavý pohyb o frekvenci 18 až 22 kHz.

Tab. 2.2 Jakost lapovaných ploch otvorů [1]

Způsob lapování	Přesnost rozměrů	Tvarová přesnost (μm)	Drsnost povrchu R_a (μm)
Normální	IT 4 až IT 6	0,5 až 1	0,1 až 0,4
Jemné	IT 3 až IT 4	0,1 až 0,5	0,05 až 0,1
Velmi jemné	IT 1 až IT 3	0,05 až 0,1	0,005 až 0,05

2.6.1 Nástroje pro lapování

Pro lapování vnitřních otvorů se používají pevné nebo rozpínací trny, na činné části nástroje jsou vytvořeny drážky, které jsou obvykle ve tvaru šroubovice, sloužící jako zásobník lapovacího prostředku.

Materiál nástroje musí být měkčí než materiál obrobku. Používá se měkká ocel, litina, bronz, antimon, cín, měď, liteřina, sklo, olovo, dřevo nebo plast. Při lapování velmi tvrdých materiálů, nebo dosažení velmi jemného povrchu se využívá kalených nebo pochromovaných nástrojů. Zvolený materiál musí dobře nést lapovací prostředek. Po celou dobu obrábění si musí zachovávat svůj tvar. V případě chemicko-mechanického lapování musí vykazovat odolnost vůči chemickému působení lapovacího prostředku.

Lapovací prostředek obsahuje také zrna brusiva, které jsou vyrobeny z karbidu křemíku, syntetického korundu, karbidu bóru, nitridu bóru a přírodního nebo syntetického diamantu. Zrna pro hrubování jsou větších rozměrů než v případě hlazení, střední velikost těchto zrn je 1 až 100 μm , pro dokončování se používají zrna velikosti 2 až 3 μm .

Pojivo ve formě suspenze v lapovacích prostředcích je používán parafin, vazelína, olej, petrolej, lůj, líh, voda a benzín. V případě chemicko-mechanického lapování je používán oxid chromitý, oxid železitý, hydroxid železitý a vídeňské vápno. Důležitou vlastností těchto prostředků je mazací schopnost, která zabraňuje zadření nástroje a obrobku.

Pro odstranění zbytku lapovacích prostředku se používá benzín, trichloretylen, perchloretylen a alkalická odmašťovadla.



Obr. 2.5 Pevný lapovací trn [1]

2.6.2 Stroje

Lapovací stroje se dělí na univerzální a speciální. Univerzální mohou být vertikální, horizontální a bezhroté. Těmito stroji můžeme obrábět rovinné, vnitřní nebo vnější válcové plochy.

Speciální se používají pro lapování určitého druhu součástí. Lapování boku zubů ozubených kol, valivých ložisek a další.

Lapovací stroje mohou být řízeny poloautomatickým nebo automatickým cyklu.

2.6 Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které je materiál obrobku odebrán abrazivním účinkem zrn vázaných pevně pojivem v honovacích lištách, kartáčích nebo honovacích kamenech, které jsou upevněny v honovací hlavě. Honováním se nejčastěji dokončují vnitřní válcové plochy. Dokončovat můžeme průchozí i neprůchozí otvory s drážkami různých tvarů, velikostí a délek.

Honování se používá pro dokončování hydraulických, pneumatických a brzdových válců, válců spalovacích motorů, ojnic, bubnů, pouzder, ložisek, vřeten, ozubených kol a dalších. Honovat lze téměř všechny materiály, kalenou i nekalenou ocel, litinu, bronz, mosaz, SK, plochy s vytvořeným povlakem z tvrdého chromu, grafit i sklo.

Hlavními parametry honování je obvodová rychlost, rychlost axiálního přímočarého vratného pohybu a měrný tlak honovacích kamenů na obrobek. Honováním dosahujeme vysoké jakosti obrobeného povrchu a vysoké přesnosti rozměrů a tvarů.

Podstatou metody je, že obráběná plocha je ve stálém styku s pracovní částí nástroje, konající v otvoru složený šroubový pohyb, který je tvořen přímočarým vratným pohybem a otáčivým pohybem. Otáčivý pohyb může být vykonáván nástrojem, nástrojem současně s obrobkem, nebo v případě neotáčejícího se nástroje pouze obrobkem. Celý proces probíhá za velkého přívodu chladicí kapaliny.

Princip spočívá v broušení povrchu jemným brusivem při malých řezných rychlostech s velkým využitím procesních kapalin. Dráhy zrn brusiva se překrývají, což vytváří na povrchu obrobku charakteristické křížové stopy s úhlem $2\alpha_z$. Hodnota úhlu α_z se pohybuje od 20° do 55° a je závislý na posuvové rychlosti a řezné rychlosti.

Řezné podmínky jsou ovlivňovány hlavně obráběným materiálem, požadovanými parametry přesnosti tvaru a drsnosti povrchu, použitým brusivem, průměrem otvoru a přídavkem na honování.

Honováním dosahujeme vysoké jakosti povrchu obrobené plochy i vysokou geometrickou přesnost. Pro dosažení přesného tvaru je rozhodující nastavení náběhu a přeběhu honovacích kamenů. V případě různého náběhu a přeběhu vznikne kuželovitý

otvor. Při honování slepých otvorů je potřeba upravit kinematiku honovacích hlav, nebo použít honovací kameny s vyšší tvrdostí v okrajové části.

Použité procesní kapaliny mají vliv na produktivitu procesu a také na dosaženou jakost obráběných ploch. Slouží k odvodu tepla, které vzniká v průběhu řezání, snižují složky řezné síly a odpory, odvádějí částice odebíraného materiálu, brusiva a pojiva z pórů honovacích kamenů. Odstraňováním těchto nečistot z pórů brusných kamenů udržují jejich řezivost. Při obrábění kalených materiálů se dosahuje vysokých úběrů použitím procesního média s menší viskozitou, kapaliny s větší viskozitou zajišťují lepší drsnost obrobené plochy.

Podle tvaru obráběné plochy rozlišujeme honování **vnitřní**, tedy honování válcových otvorů, které tvoří 80 % všech honovacích operací. **Vnější**, honování hřídelů a **rovinné** pro honování rovinných ploch.

Podle pracovního režimu na **klasické**, tedy honování otvorů, **elektrolytické** a **vibrační**, kde je ke klasickým pohybům přidán vibrační pohyb a dochází ke zlepšení úběru a jakosti povrchu.

Dle použití na **jednostupňové**, hrubování a dokončování se provádí jedním nástrojem bez přerušení obrábění. **Dvoustupňové**, hrubování i dokončování je prováděno různými nástroji ve dvou operacích.

Tab. 2.3 Přesnost při honování vnitřních rotačních ploch [1]

Honování	Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu Ra (μm)
hrubovací	6 až 8	0,2 až 0,8
jemné	5 až 7	0,1 až 0,2
dokončovací	3 až 5	0,05 až 0,1

Tab. 2.4 Přidavky na honování dle doc. Humára [1]

Průměr díry (mm)	Velikost přídavku na průměr (mm)	
	Oceli	Litiny
20 až 50	0,01 – 0,02	0,02 – 0,04
50 až 100	0,015 – 0,03	0,02 – 0,06
100 až 200	0,02 – 0,05	0,04 – 0,08
200 až 300	0,025 – 0,08	0,06 – 0,16
300 až 500	0,04 – 0,12	0,12 – 0,25

2.7.1 Nástroje pro honování

Nástroje, které se používají pro honování, jsou honovací hlavy s mechanickým (ručně ovládaným) rozpínáním honovacích kamenů. Nastavení honovacích kamenů na požadovaný průměr se provádí pomocí otáčející se objímky. Na vnitřním obvodu objímky je vyrobeno ozubení, které je spojeno pomocí průchozí tyče k převodu. Zabrzděním objímky dojde k pootočení ovládací tyče. Dolní kužel se přiblíží k hornímu a honovací kameny se oddálí od osy nástroje. Středová osa může být také ovládána hydraulickým, pneumatickým válcem nebo elektromagnetem.

Držáky honovacích kamenů jsou uloženy v honovací hlavě tak, že radiální pohyb jednoho kamene ovlivní pohyb ostatních kamenů. Honovací kameny jsou v držácích připevněny lepením, což umožňuje použití přitlačných pružin. Honovací kameny jsou umístěny rovnoběžně s osou nástroje, nebo mohou být mírně sklopeny, což snižuje vibrace, hlučnost a umožňuje použití vyšších řezných rychlostí.

Honovací kameny jsou vyráběny ve tvaru kvádra se čtvercovou nebo obdélníkovou podstavou. Materiál použitý pro výrobu těchto kamenů:

- Syntetický korund (Al_2O_3), nebo karbid křemíku (SiC), které jsou nejpoužívanější.
- Grafit je vhodný pro dokončovací operace, lze jím dosahovat vysokých kvalit povrchu.
- Diamant, který se vyznačuje větší řezivostí a trvanlivostí, je vhodný pro sériovou výrobu.
- Karbid boru a nitrid boru mají velmi dobré vlastnosti řezivosti, trvanlivosti a kvality obrobeného povrchu.

Honovací hlava je spojena s vřetenem pomocí kloubu, který zajišťuje automatické vystředění hlavy v otvoru a dosažení vysoké tvarové a rozměrové přesnosti.

Konstrukce hlavy se liší použitím, počtem honovacích kamenů, rozložením kamenů a délkou. Pro otvory do průměru 2 mm se používají jednokamenné honovací hlavy. Pro otvory větších průměrů se používají vícekamenné honovací hlavy.

Pro ulehčení zavádění honovací hlavy do díry se využívá vodících pouzder.



Obr. 2.6 Nástroj pro honování válců [2]

2.7.2 Stroje

Honování se může provádět strojně nebo ručně. Ruční honování se provádí pomocí vrtačky, kdy otáčivý pohyb provádí vrtačka a posuvový pohyb se provádí ručně. Používanější je však honování strojní na speciálních strojích.

Podle konstrukce dělíme na horizontální honovačky, které se používají pro honování malých součástí, nebo pro honování dlouhých otvorů. Maximální délka těchto otvorů dosahuje až 24 000 mm. Vertikální se vyrábějí stojanové nebo portálové, používají se hlavně pro velké a rozměrné obrobky. Speciální se používají pro honování vnějších i vnitřních povrchů, mohou pracovat jako vibrační nebo s pomocí elektrolytu.

Podle stupně automatizace rozlišujeme honovačky na honovací poloautomaty, které mají více pracovních míst, kdy na jednom provádíme honování, ostatní jsou využity pro upnutí. Během honování probíhá aktivní kontrola rozměrů. U automatu jsou obrobky podávány upínány a uvolňovány automaticky. Automaticky je řízený také celý proces

honování, měření rozměrů, rozpínání honovacích kamenů, dokončovací proces honování i vytažení honovací hlavy z otvoru. Automatické linky mají podobné uspořádání jako obráběcí linky.

Upínání se provádí mechanicky, hydraulicky, pneumaticky nebo elektromagneticky.



2.7 Honovací horizontální stroj [3]

3. Experimentální činnost

V práci dojde ke srovnání výroby zadané součásti dokončovací metodou obrábění otvorů honováním. Honování bude posuzováno pro výrobce Sunnen s.r.o. a Gehring Technologies GmbH. Ve spolupráci se společností Vítkovice Heavy Machinery a.s. byla vypracována cenová nabídka na nákup strojů a potřebného příslušenství.

Tyto aspekty budou zhodnoceny z ekonomického hlediska jejich nákupu. Do ceny budou zahrnuty náklady na nákup honovacího stroje, honovací tyče, honovací hlavy, držáku brusných kamenů a sady brusných kamenů. Do srovnání budou zahrnuty také náklady pro nákup provozních kapalin potřebných pro výrobu požadované součásti.

V nabídce také budou popsány výrobní časy potřebné pro výrobu námi požadované součásti. S ohledem na tyto data bude provedeno porovnání obou výrobců s požadavkem na co nejnižší výrobní náklady součásti. Porovnání bude obsahovat také režijní náklady pro výrobu, které ovlivní především výrobní časy strojů a vedlejší časy.

3.1 Charakteristika firem

Firma Sunnen s.r.o.

Firmu založil Joe Sunnen a jeho žena Cornelia. V roce 1924 prodali svoje nástroje na přestavbu ventilu zadní části zvedače používaného v roce 1916 v osobním automobilu Hupmobile. Jedním z prvních produktů firmy bylo manuálně ovládané honování válce v roce 1928.

Po celém světě firma zaměstnává více než 800 zaměstnanců. Hlavní sídlo má v srdci Spojených Států a výrobní závody se nacházejí ve Švýcarsku, Itálii, Velké Británii, Francii, Polsku, Rusku a Číně.

Firma Gehring Technologies GmbH

Firmu založil roku 1926 Cristoph-Willi Gehring v německém městě Naumburg/Saale. Firma zpočátku působila v oblasti oprav automobilových spalovacích motorů a zabývala se především dokončováním vývrtů válců motorů.

V roce 1935 byl postaven první honovací stroj pro honování vývrtů válců. Rozvíjející se automobilový průmysl kolem roku 1948 měl výrazný vliv na další růst firmy. V této době se firma přestěhovala do města Ostfildern, kde sídlí dodnes. Dceřiné společnosti firmy sídlí v Německu, Francii, Velké Británii, Brazílii, USA, Indii a Číně.

3.2 Výrobní požadavky

Výkres součásti je duševním majetkem firmy a firma si nepřeje tento výkres zveřejňovat. Proto bude uveden pouze ISO pohled a částečný řez součásti s rozměry potřebnými pro honování. Honovaná součást byla vybrána jako typový představitel ze součástí, které jsou honovány. Honování probíhá kusovou výrobou různých součástí.

Honovaná součást, manipulační válec, se používá jako manipulátor hydraulického kovářského lisu.

Průměr válce 300 mm

Délka válce 6000 mm

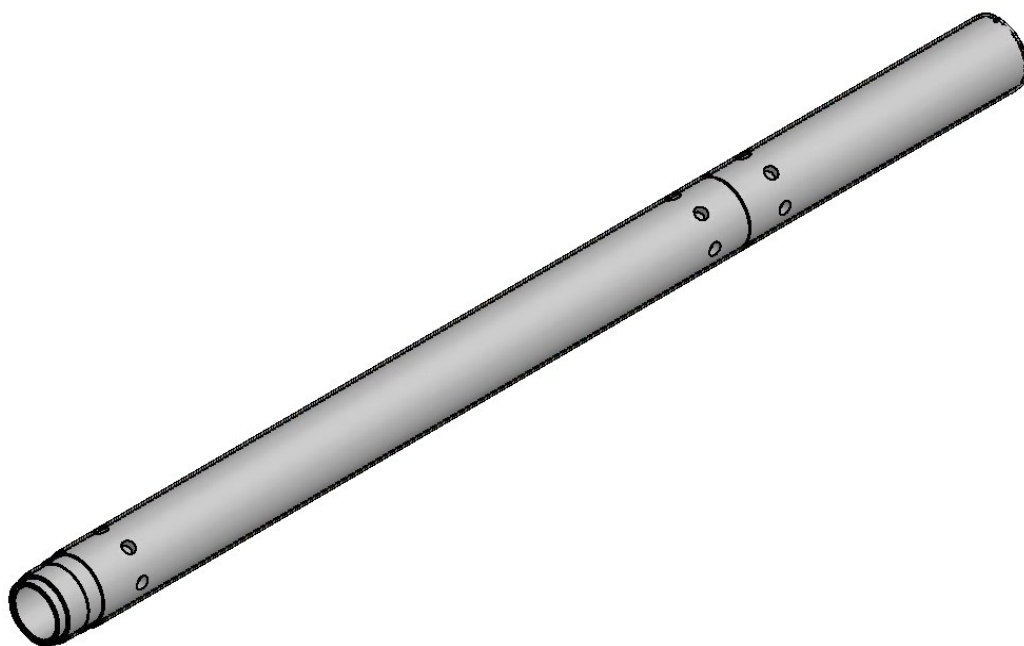
Materiál ocel 50CrMo4 + QT

Geometrické úchytky – kruhovitost, kuželovitost do 0,15 mm

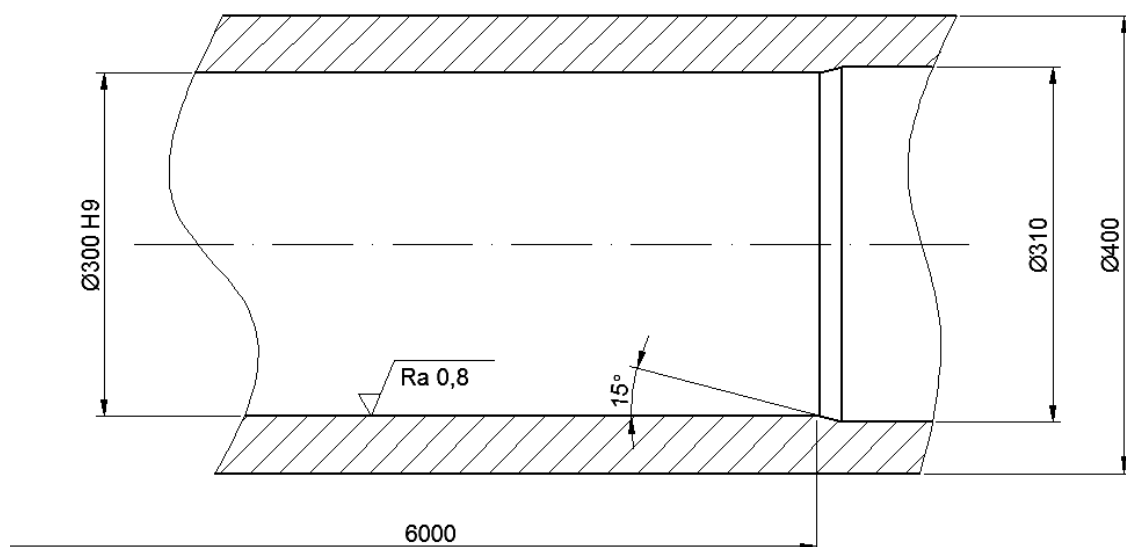
Parametr drsnosti Ra před honováním 12,5 μm

Parametr drsnosti Ra požadovaná po honování 0,4 – 0,8 μm

Přídavek na obrábění 1 mm



Obr. 3.1 Honovaná součást



Obr. 3.2 Náčrt honované součásti

Charakteristika materiálu

Jedná se o legovanou ocel v zušlechtěném stavu. Číselné označení dle EN 1.7228

Tab. 3.1 Chemické složení oceli v % [4]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,46 – 0,54	max 0,4	0,5 – 0,8	max 0,025	max 0,035	0,9 – 1,2	0,15 – 0,3

Maximální pevnost ve stavu žíhání na měkko HBW 248.

Označení QT je zušlechtění oceli tepelně nebo izotermickým kalením.

Mechanické vlastnosti pro ocel v zušlechtěném stavu o průměru 160 až 250 mm.

Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti oceli

Parametr	Hodnota	Jednotka
Re min.	550	MPa
Rm	800 – 950	MPa
A min.	13	%
Z min.	50	%
Kv min.	30	J

3.3 Cenové kalkulace jednotlivých výrobců

Gehring Technologies GmbH

Společnost na vyžádání zaslala nabídku a cenovou kalkulaci pro výrobu zadané součásti.

Tab. 3.3 Cenová kalkulace Gehring Technologies GmbH

Položka	Cena v Kč bez DPH
Honovací stroj GNM-NC 8000	8 219 897 Kč
Chladicí nádoba	693 128 Kč
Dopravní systém kapaliny	101 132 Kč
Honovací hlava typu Midi	153 897 Kč
Sada držáku kamenů	49 402 Kč
Držák kamene s příčným nadstavením	52 506 Kč
Sada hrubovacích kamenů HD2R3E/S 10 ks	12 674 Kč
Sada dokončovacích kamenů HD2F8C 10 ks	12 674 Kč
Luneta	150 017 Kč
Krytování	201 747 Kč
Honovací olej heavy duty HD2 – 205L	221 922 Kč
Součet	9 868 996 Kč

Stroj *GNM-NC 8000*.

- Horizontální honovací stroj, s délkou pracovního stolu 8000 mm.
- Vřeteno je možno použít do průměru 600 mm.
- Elektromechanický pohon vřetena s výkonem 9 kW.
- Rozsah rychlosti stolu od 0 do 40 m.min⁻¹.
- Rozsah otáček vřetena od 10 do 350 min⁻¹.
- S rozšířeným upínacím přípravkem do prismatického.
- Možnost upnutí vnějšího průměru obrobku až 1000 mm.

Digitální kontrola honování s následujícími funkcemi:

- Žhavení mimo cyklus.
- Proměnlivé měnění bodů během honování.
- Plynule nastavitelná rychlost posuvu stolu.
- Zpoždění při změně určitých bodů.

- Automatické ovládání při honování a nastavení stolu.
- Možnost honování kuželových ploch.
- Automatická korekce geometrie.
- Běžné ovládání na dotykové obrazovce.
- Automatický přísuv honovacích kamenů během práce stolu.

Součástí stroje:

- USB rozhraní pro přenos programu.
- Ovládací panel v německém jazyce.



Obr. 3.3 Honovací stroj GNM-NC 8000 [12]

Honovací olej *heavy duty HD2 -205L*

Olej je tmavé barvy, vhodný pro honování otvorů velkých průměrů, například průmyslové válce a honování trubek. V oleji jsou obsaženy přídatné látky pro zlepšení jeho vlastností.

Aditiva pro snížení mlžení oleje, zvýšení zdravotní nezávadnosti a zvýšení bezpečnosti pro obsluhu stroje. Další přísada snižuje opotřebení nástroje během honování a zvyšuje životnost nástroje. Olej lze použít také pro mazání otvorů a pro honování vnějších průměrů trubek.

Chladicí nádoba

Kapacita nádoby je 1200 litrů. Obsahuje filtr a magnetický separátor. Chladicí nádoba se používá pro ochlazení procesní kapaliny používané během honování.

Dopravní systém kapaliny

Slouží pro dopravení chladicí kapaliny ze stroje do filtračního zařízení.

Honovací hlava typu Midi

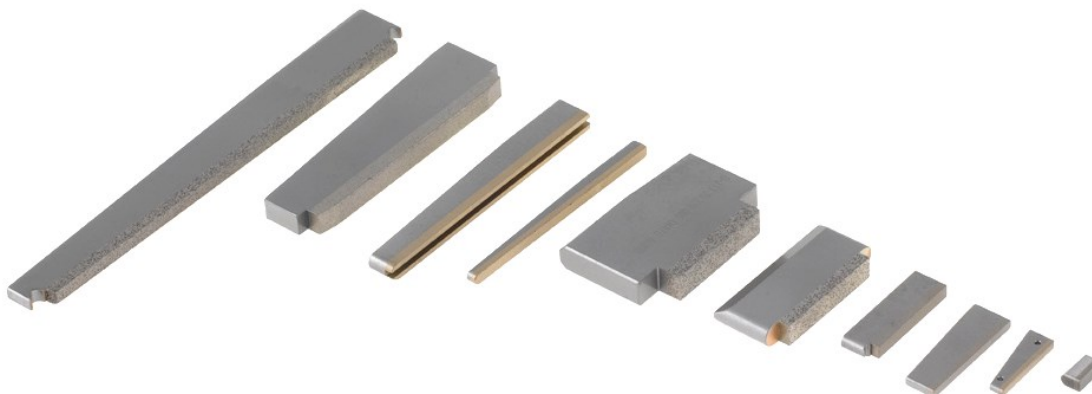
Používá se pro průměry 195 až 450 mm.

Sada držáků kamenů

Slouží pro upnutí kamene do honovací hlavy. Upnutí kamenů se provádí pomocí lepidla na držák.

Honovací kameny

Honovací kameny se skládají ze tří hlavních komponent, jejich kombinací lze dosáhnout požadovaných řezných vlastností. Základem je brusivo, tedy syntetický diamant nebo kubický nitrid bóru s různou zrnitostí. Druhou složkou je pojivo, které zajišťuje přilnavost abrazivních krystalů.



Obr. 3.4 Honovací kameny [15]

Sada hrubovacích kamenů HD2R3E/S

Použití pro hrubovací honování. Tyto kameny mají větší parametr drsnosti povrchu s částicemi větších rozměrů z důvodu zajištění větších úběrů během honování. Povrch součásti je však méně kvalitní než je požadovaná hodnota.

Sada dokončovacích kamenů HD2F8C

Použití pro dokončovací honování. Kameny mají jemnější strukturu s hladším povrchem pro dosažení požadovaného parametru drsnosti povrchu honované součásti.

Luneta

Luneta se používá pro podepření dlouhých součástí. Již zmíněné podepření zajišťuje správné vedení honované součásti bez průhybů a zvyšuje stabilitu součásti během honování.

Krytování

Krytování slouží jako ochrana proti rozstříku provozních kapalin.

Sunnen s.r.o.

Stejně jako firma Gehring Technologies GmbH, Sunnen s.r.o. zaslal svou nabídku pro výrobu součásti a cenovou nabídku na nákup strojů, nástrojů a příslušenství.

Tab. 3.4 Cenová kalkulace Sunnen s.r.o.

Položka	Cena v Kč bez DPH
Honovací stroj HTH bez upínacího stolu	5 633 804 Kč
Honovací tyč SE88600	82 266 Kč
Těleso hlavy HB195	96 880 Kč
Držák kamenů	98 322 Kč
Sada hrubovacích kamenů H70A45N 2 ks	1 861 Kč
Sada dokončovacích kamenů H70J65 2 ks	1 690 Kč
Honovací olej MB3055 209,21 litrů	40 320 Kč
Součet	5 955 143 Kč

Stroj HTH bez upínacího stolu

- Stoj je schopen honovat otvory v rozsahu 25 – 1000 mm.
- Vnější průměr součásti 60 – 600 mm.
- Výkon vřetena je 6 kW.
- Otáčky vřetena 15 - 450 min⁻¹.

Vlastnosti a výhody:

- PLC displej umožňuje ovládání a kontrolu průběhu honování.
- Do displeje možno zadat přímo výstupní požadavky, stroj vypočte všechny potřebné parametry pro honování součástí.

- Vestavěný ukazatel zatížení signalizuje vysoké a nízké body v otvoru.
- Obsluha může nastavit posuv stolu pro dosažení optimálního času honování.
- Stroj sleduje podávací tlak a zatížení vřetene, jako ochranu proti přetížení nástroje.
- Speciální režim automaticky opraví chyby geometrie vrtání.
- Rychlé sání usnadňuje vrtání, měření a kontrolu brusiva.



Obr. 3.5 Honovací stroj HTH s upínacím stolem. [6]

Honovací tyč

Tyč lze použít do délky 6000 mm.

Těleso hlavy HB195

Hlava je určena pro průměr otvoru od 195 do 450 mm.

Držák kamenů

Držák lze použít pro průměry otvorů od 260 do 340 mm.

Hrubovací kameny H70A45N

Hrubovací kameny slouží pro velké úběry materiálu za krátkou dobu. Těchto parametrů je dosaženo větší velikosti zrn a vysokým parametrem drsnosti kamenů. Výsledný povrch součásti neodpovídá požadovaným parametrům přesnosti a drsnosti honované součásti.

Dokončovací kameny H70J65

Dokončovací kameny obsahují menší velikost zrn oproti hrubovacím kamenům s menším parametrem drsnosti. Výsledný honovaný povrch má vyšší geometrickou přesnost a dosahuje požadovaného parametru drsnosti honované součásti. Dokončovací kameny pracují s menším úběrem a nižší produktivitou než hrubovací kameny.

Honovací olej MB3055

Skládá se z minerálního oleje s obsahem síry. Olej je balen v sudu a obsahuje 55 galonů, které odpovídají 209,21 litrů. Olej zajišťuje možnost použití vysokých řezných rychlostí a dlouhou životnost brusných kamenů. Používá se pro honování náročných materiálů, jakými jsou nerezové oceli. Má vysoký obsah povrchově aktivních látek, které zajišťují dobrou maznost. Obsahuje deaktivátory kovů, aby se zabránilo barvení slitin obsahujících měď.



Obr. 3.6 Honovací olej MB3055 [13]

Tab. 3.5 Kompletní cenové srovnání obou nabídek.

Položka	Cena v Kč bez DPH	
	Gehring Technologies GmbH	Sunnen s.r.o.
Celková cena	9 868 996 Kč	5 955 143 Kč

3.4 Srovnání výrobních nákladů pro výrobu součásti

Následující část se bude zabývat srovnáním ekonomických nákladů na výrobu součásti na strojích jednotlivých výrobců honovacích strojů. Firmám byly zaslány hodnoty honované součásti a na jejich základě firmy zaslaly výrobní časy pro jednotlivé operace. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulkách. Hodnoty byly stanoveny na základě zkušebního honování přímo ve firmách. Pro vhodné zhodnocení výrobních parametrů a cenové kalkulace nákupu zařízení byla zvolena typová součást.

Tab. 3.6 Srovnání výroby součásti jednotlivými výrobci

	Sunnen s.r.o.	Gehring Technologies GmbH
Potřebný výrobní čas	4 h	5 h
Čas potřebný pro výměnu součásti	0,5 h	0,4 h
Spotřeba hrubovacích kamenů	3 722 Kč	4 225 Kč
Spotřeba hladicích kamenů	3 380 Kč	4 225 Kč

Režijní sazba k těmto strojům je 1200 Kč.h⁻¹. Režijní sazba byla stanovena na základě předběžných kalkulací výroby podniku Vítkovice Heavy Machinery a.s.

Tab. 3.7 Celkové náklady výroby součásti

	Sunnen s.r.o.	Gehring Technologies GmbH
Režijní sazba	5 400 Kč	6 480 Kč
Spotřeba hrubovacích kamenů	3 722 Kč	4 225 Kč
Spotřeba hladicích kamenů	3 380 Kč	4 225 Kč
Celkové náklady	12 502 Kč	14 930 Kč

Tab. 3.8 Řezné parametry jednotlivých výrobců

	Sunnen s.r.o.	Gehring Technologies GmbH
Výkon honování	800 cm ³ .h ⁻¹	400 -600 cm ³ .h ⁻¹
Materiál honovacích kamenů	kubický nitrid bóru	keramika

4. Závěrečné vyhodnocení experimentu

V experimentu došlo k porovnání dvou výrobců honovacích strojů Gehring Technologies GmbH a Sunnen s.r.o. z ekonomického hlediska nákupu strojů, nástrojů a potřebného příslušenství. Náklady na pořízení honovacího stroje s veškerým potřebným příslušenstvím vychází levněji u firmy Sunnen s.r.o., rozdíl mezi firmami činí 4 968 147 Kč.

Největší rozdíl je při nákupu honovacího stroje, kde firma Sunnen s.r.o. nabízí stroj HTH bez upínacího stolu. Ten lze vyrobit přímo ve firmě Vítkovice Heavy Machinery a.s. s kmenovými zaměstnanci na stávajícím zařízení a bez nutnosti nákupu dalšího vybavení. Pouze je potřeba nakoupit potřebný materiál. Cena stroje proto vyjde mnohem nižší oproti firmě Gehring Technologies GmbH, která možnost vlastní výroby upínacího stolu nenabízí. Firma nabídla pouze stroj s upínacím zařízením a tudíž dražší. Cenový rozdíl obou strojů činí 2 586 093 Kč. Nákup honovacího stroje s předem vyrobeným upínacím zařízením je z finančního hlediska nevýhodný, tudíž je lepší nákup stroje společnosti Sunnen s.r.o.

Firma Gehring Technologies GmbH v cenové nabídce zahrnuje cenu chladičového zařízení, které je potřeba při honování součástí v případě velkého zahřívání honovacího oleje. Chladičí nádoba slouží k ochlazení oleje a jeho následné použití při procesu honování. Ochlazením oleje dosáhneme vhodných řezných podmínek při honování. Tyto vhodné podmínky prodlužují živostnost nástroje, řezivost a zlepšují celkovou ekonomiku provozu zařízení. Cena tohoto zařízení je 693 128 Kč, což opět navyšuje cenu celého zařízení. Tuto skutečnost je potřeba zohlednit z důvodu následné potřeby zakoupení nádoby i pro zařízení firmy Sunnen s.r.o.

Testy výroby požadované součásti ukázaly náklady pro honování jednoho kusu. Honování na stroji firmy Sunnen s.r.o., který využívá kameny vyrobené z kubického nitridu bóru má produktivitu honování $800 \text{ cm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Náklady na jednu součást jsou 12 502 Kč. Firma Gehring Technologies GmbH využívá kameny vyrobeny z keramiky s produktivitou honování $400 - 600 \text{ cm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Náklady na součást jsou 14 930 Kč. Honování na stroji společnosti Sunnen s.r.o. vychází o 2 428 Kč levněji oproti společnosti Gehring Technologies GmbH. Tento cenový rozdíl je dán nižší cenou hrubovacích a hladicích kamenů a také vyšší produktivitou během procesu honování.

Z hlediska případného servisu je výhodnější americká firma Sunnen s.r.o., která má zastoupení v České republice, ve Strakoniciích. Firma Gehring Technologies GmbH je v České republice zastoupena pouze prostřednictvím firmy Imtos, spol. s.r.o., která má sídlo v Brně a na Slovensku. Další výhodou firmy Sunnen s.r.o. je, že veškerá komunikace probíhá v češtině, což je velká výhoda především pro řešení problémů během použití stroje. Zaškolení obsluhy stroje probíhá v českém jazyce, stejně jako programovací a řídicí prostředí stroje. Firma Gehring Technologies GmbH nabízí veškerou komunikaci a zaškolení obsluhy stroje pouze v němčině. Stroj také nenabízí prostředí v českém jazyce, ale pouze v německém. Celkově se s firmou Sunnen s.r.o. lépe jednalo než s firmou Gehring Technologies GmbH.

Závěr

V úvodu bakalářské práce byly popsány jednotlivé způsoby výroby otvorů s popisem technologií, používaných nástrojů a strojů. V další části je rozebrána problematika dokončování otvorů s uvedením stupňů přesností a parametrů drsností jednotlivých operací.

V bakalářské práci byla řešena problematika honování hlubokých otvorů. Ve firmě Vítkovice Heavy Machinery a.s. bylo potřeba provést honování vyráběné součásti, kterou si objednal zákazník. Parametrů vnitřního otvoru součásti nebylo možno dosáhnout klasickým způsobem, například vrtáním. Proto byla zvolena metoda dokončování otvoru honováním. Firma neměla k dispozici potřebné zařízení pro honování a byl nutný jejich nákup.

Pro nákup honovacího stroje byly zvoleny dvě firmy, firma Gehring Technologies GmbH a firma Sunnen s.r.o. Firma Gehring Technologies GmbH je německý výrobce honovacích strojů a firma Sunnen s.r.o. americká.

Na základě výrobních požadavků byly zaslány poptávky na nákup strojů, nástrojů a potřebného příslušenství oběma výrobcům. Součástí cenové kalkulace bylo zaslání výrobních časů a spotřeba honovacích kamenů na jednu součást, která byla vybrána jako typová z mnoha honovacích součástí.

Po obdržení cenových kalkulací a výrobních časů od obou firem bylo nejprve provedeno cenové srovnání nákupu strojů. Z hlediska nákupu honovacího stroje je výhodnější americká firma Sunnen s.r.o., která nabízí honovací stroj bez upínacího stolu, který je možno vyrobit ve firmě Vítkovice Heavy Machinery a.s. s mnohonásobně nižší cenou. Také honovací kameny jsou levnější než u německé firmy Gehring Technologies GmbH. Další výhodou firmy Sunnen s.r.o. je dostupnější servisní síť v České republice, komunikace s výrobcem a prostředí stroje kompletně v českém jazyce.

Srovnáním nákladů na honování typové součásti, je výhodnější honování na stoji firmy Sunnen s.r.o., kde je vyšší produktivita honování oproti firmě Gehring Technologies GmbH. Cena honovacích kamenů, které je nutno vyměnit během honování součásti vlivem jejich opotřebení, je také nižší u společnosti Sunnen s.r.o.

Po celkovém zhodnocení výrobců z hlediska nákupu stroje, dostupnosti servisní sítě, náhradních dílů stroje, komunikaci a nákladům při výrobě součástí, je nutno doporučit nákup honovacího stroje u společnosti Sunnen s.r.o.

Použité zdroje

- [1] ŘASA, Jaroslav; Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 1. vyd. Praha: Scientia, spol s.r.o., 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [2] Exact technologies, [online], nástroj pro honování válců 2012 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z: <<http://exteobchod.cz/cromwell-autodilna/92042050-nastroj-pro-honovani-valcu-heavy-duty-cylinder-hone3-leg-ken5032920k.html>>.
- [3] Gehring.de, [online], horizontální honovací stroj. 2013 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <<http://www.gehring.de/en/products/honing-machines/deephone/>>.
- [4] Acsteel.cz, [online], Chemické složení. 2008 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <<http://www.acsteel.cz/down/ocel-valcovana-legovana-pro-zuslechteni.pdf>>.
- [5] HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf>.
- [6] Sunnen.com, [online], honovací stroj HTH. 2013 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <<http://www.sunnen.com/tube-hone/ht-h-tube-hone>>.
- [7] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235 s. IBSN 978-80-254-2250-2.
- [8] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. IBSN 80-968954-2-7.
- [9] VASILKO, Karol. *Analytická teória treskového obrábania*. Prešov: COFIN Prešov: COFIN Prešov, 2007. 338 s. IBSN 978-80-8073-759-7.
- [10] WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performace*. Gainesville, Florida: Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. IBSN 0-8155-1355-0.

[11] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; NOVÁK-MARCINČIN, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábání III. Část – Technologia obrábania*. Žilina: Media/ST s.r.o. Žilina, 2006, 214 s. IBSN 80-968954-2-7.

[12] Nepa, [online], Honovací stroj GNM-NC 8000. 2013 [cit. 2013-02-30]. Dostupné z: <<http://www.nepa.de/gehring.php>>.

[13] Sunnen.com, [online], honovací olej MB3055. 2013 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <<http://www.sunnen.com/honing-oils-coolants/mb-30-honing-oil>>.

[14] Linked in, [online], Delapena honovací olej HD. 2013 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <<http://www.linkedin.com/company/delapena-honing-equipment-usa-llc/delapena-hd-honing-oil-630056/product>>.

[15] Gehring.de, [online], honovací kameny. 2013 [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <<http://www.gehring.de/produkte/schneidmittel/>>.